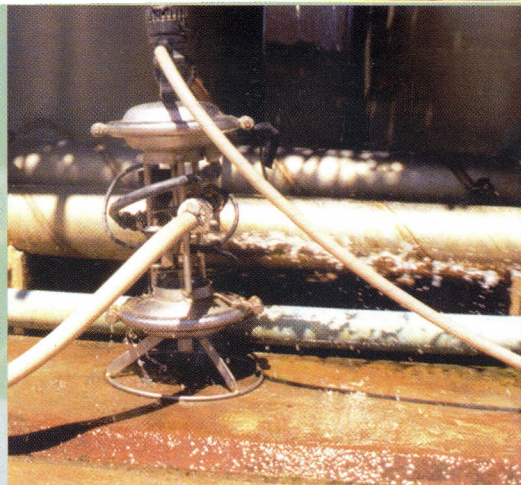
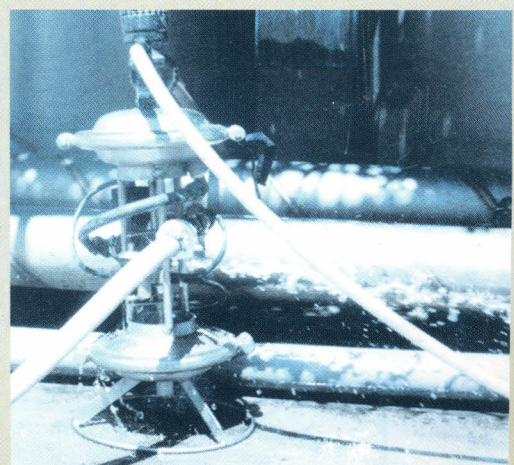


Capítulo 11



Fertirrigação

José Maria Pinto
Davi José Silva
Ana Lúcia Borges
Eugênio Ferreira Coelho
José Crispiniano Feitosa Filho





Introdução

A irrigação teve avanço considerável nas últimas décadas tanto no que diz respeito ao aprimoramento de novos métodos de se levar água ao solo e às culturas, como no incremento de novas áreas irrigadas. Entre as vantagens da irrigação está aquela que possibilita utilizar o próprio sistema como meio condutor e distribuidor de produtos químicos, como fertilizantes, inseticidas, herbicidas, nematicidas e reguladores de crescimento, simultaneamente com a água de irrigação, prática conhecida atualmente como “quimigação”.

Fertirrigação é a aplicação de fertilizantes via água de irrigação. Essa prática constitui-se numa técnica de aplicação simultânea de fertilizantes e água, por meio de um sistema de irrigação. É uma prática agrícola essencial ao manejo de culturas irrigadas quando se utiliza sistemas de irrigação localizada. É uma das maneiras mais eficientes e econômicas de aplicar fertilizante às plantas, principalmente em regiões de climas árido e semi-árido, pois em se aplicando os fertilizantes em menor quantidade por vez, mas com maior frequência, é possível manter um teor uniforme de nutrientes no solo durante o ciclo da cultura, o que aumentará a eficiência do uso destes pelas plantas, proporcionando um incremento da produtividade.

Burt et al. (1998) citam que 5,2 milhões de hectares foram fertirrigados no ano de 1985 nos Estados Unidos. A área fertirrigada na Espanha está em torno de 300 mil hectares e somente na Comarca de Almeria existem mais de 25 mil hectares de cultivos hortícolas conduzidos com irrigação localizada em quase toda a área.

A agricultura irrigada na Região Nordeste do Brasil desempenha um papel significativo no desenvolvimento regional. A irrigação exige um alto padrão tecnológico, que tem por objetivo a melhor oportunidade de aplicação de novas tecnologias, cuja redução de custos precisa ser estudada em profundidade.

A mangueira é uma planta cultivada em todo o mundo, em diversas condições de solo e de clima. Muitas vezes, o desconhecimento do solo e, principalmente, da exigência nutricional da planta, leva à prática de adubação inadequada, que afetará significativamente o desenvolvimento e a produtividade da mangueira.

Embora a fertirrigação apresente vantagens, existe uma carência de informações sobre período de aplicação, frequência, doses e tipos de fertilizantes para a maioria das culturas irrigadas.

Com o propósito de gerar tecnologias para áreas irrigadas, a Embrapa vem desenvolvendo pesquisas visando solucionar os problemas e definir critérios técnicos da aplicação de fertilizantes por meio de sistemas de irrigação.

Vantagens e Limitações da Fertirrigação

Teoricamente, qualquer método de irrigação pode ser utilizado para condução e aplicação de produtos químicos junto com a água, porém, a uniformidade de distribuição

nos sistemas de irrigação (localizada – gotejamento e microaspersão) que conduzem água em tubulações fechadas e pressurizadas os torna mais adequados para uso dessa prática. Dependendo do sistema de irrigação e dos cuidados em realizar a fertirrigação, diferentes vantagens podem ser obtidas em relação aos métodos convencionais de aplicação dos adubos, como:

- a) Maior aproveitamento do equipamento de irrigação, condicionando maior rentabilidade e melhor uso do capital investido.
- b) Aplicação dos nutrientes no momento e quantidade exata requerida pelas plantas.
- c) Menor necessidade de mão-de-obra para se fazer as adubações, pois aproveita praticamente o mesmo trabalho requerido para se fazer as irrigações.
- d) Menor compactação com redução de tráfego de máquinas dentro da área.
- e) Menos danos físicos às culturas, evitando derrubadas das flores, de frutos e dos galhos das plantas, o que reduz a incidência e propagação das pragas e doenças.
- f) Aplicação de micronutrientes: geralmente, na adubação em pequenas dosagens por área, dificilmente se consegue, por métodos manuais, uma boa uniformidade de distribuição do adubo, o que facilmente se consegue com fertirrigação.
- g) Possibilidade de uso em diferentes sistemas de irrigação.
- h) Aumento de produtividade e qualidade comercial dos produtos.
- i) Boa uniformidade de distribuição dos adubos no solo, caso haja também boa uniformidade de distribuição de água pelo sistema de irrigação.
- j) Redução da contaminação do meio ambiente, como consequência do melhor aproveitamento, pelas plantas, dos nutrientes móveis no solo, quando aplicados via água de irrigação localizada.

Limitações da Fertirrigação

Alguns contrafeitos que porventura venham surgir se dão em razão de não se observar os aspectos técnicos relacionados à nutrição de plantas, à química e à física de solo, à fisiologia vegetal e à própria prática da irrigação. Como limitações têm-se:

- a) Exigem-se conhecimentos técnicos sobre os adubos e cálculos das dosagens.
- b) Exige-se pessoal treinado para o manuseio dos adubos e injetores.
- c) Pode causar danos ambientais com a contaminação de fontes de água.
- d) Pode trazer problemas de corrosão aos equipamentos de irrigação.
- e) Pode trazer problemas de toxidez ao agricultor.
- f) Pode causar aumento nas perdas de carga no sistema de irrigação.

Fatores Relacionados ao Tipo de Solo

Trabalhos conduzidos em todo o mundo demonstraram que a fertirrigação tem potencialidade de apresentar melhores resultados nos solos arenosos do que nos solos mais argilosos, constituindo uma das principais vantagens dessa prática em relação aos

métodos convencionais de adubação, pois são justamente nos solos arenosos que se tem maior exigência nutricional, dada as altas perdas de adubos que são lixiviados, principalmente os nitrogenados. A aplicação de pequenas dosagens de forma parcelada aumenta a disponibilidade dos adubos nas camadas mais superficiais do solo, proporcionando melhor eficiência de cada produto.

Fatores Relacionados à Qualidade da Água de Irrigação

A qualidade da água de irrigação constitui um dos fatores importantes na fertirrigação, e o sucesso ou insucesso observado em áreas que utilizam a irrigação é atribuído à salinização do solo. Segundo Burt et al. (1998), há três métodos comuns para descrever a quantidade de sal na amostra de água: condutividade elétrica; partes por milhão (ppm); e miliequivalente por litro.

A condutividade elétrica é o método mais simples de avaliar a quantidade total de sal na amostra e define a carga elétrica das partículas de sal existente na água. Uma corrente elétrica é aplicada entre dois eletrodos que são inseridos na amostra de água e diretamente determina-se a condutividade elétrica na água, que aumenta à medida que aumentam os sais dissolvidos. Embora os condutivímetros sirvam para medir a condutividade elétrica da amostra de água, não há como qualificar os sais existentes dissolvidos na água de irrigação.

As características da água de irrigação têm maior ou menor importância em função do tipo de irrigação utilizado e do modo de aplicação. A fertirrigação com sistemas por aspersão limita a concentração de sais como sódio, cloro, boro e flúor devido aos problemas de queima de folhas das culturas. As condições de salinidade da água ou o excesso de fertilizantes nas folhagens das plantas podem ter efeitos significativos na produção das culturas, dependendo do nível de tolerância de cada espécie à salinidade.

A Tabela 1 apresenta os valores das características químicas e físicas de alguns componentes presentes na água utilizada via fertirrigação.

Tabela 1. Características químicas e físicas que devem ser consideradas na água utilizada via fertirrigação.

Análises	Risco		
	Nenhum	Alto	Severo
pH	5,5 - 7,0	< 5,5 ou > 7,0	< 4,5 ou > 8,0
C.E (mmol/cm)	0,5 - 0,75	0,75 - 3,0	> 3,0
Sólidos solúveis totais (ppm)	325 - 480	480 - 1920	> 1920
Bicarbonato (ppm)	< 40	40 - 180	> 180
Sódio (ppm)	< 70	70 - 180	> 180
Cálcio (ppm)	20 - 100	100 - 200	> 200
Magnésio (ppm)	< 63	> 63	-
Boro (ppm)	< 0,5	0,5 - 2,0	> 2,0
Cloro (ppm)	< 70	70 - 300	> 300
Flúor (ppm)	< 0,25	0,25 - 1,0	> 1,0
Ferro (ppm)	< 0,20	0,20 - 0,40	> 0,40
Nitrogênio	< 5	5 - 30	> 30
RAS	< 3	3 - 6	> 6

Fonte: Vitti et al. (1994).

Fatores Relacionados aos Fertilizantes Utilizados na Fertirrigação

A solubilidade do produto é considerada um dos fatores importantes na fertirrigação, uma vez que fertilizantes e demais produtos insolúveis ou pouco solúveis podem condicionar obstruções nas tubulações e nos emissores do sistema de irrigação.

Shani (1981) classifica os fertilizantes com possibilidade de uso na fertirrigação em três grupos:

- a) Fertilizantes líquidos, comercializados na forma de solução, prontos para serem usados sem tratamento prévio.
- b) Fertilizantes sólidos facilmente solúveis, que devem ser dissolvidos antes de serem utilizados.
- c) Fertilizantes de baixa solubilidade e que não são recomendados para uso.

Os fertilizantes ricos em nitrogênio, potássio e micronutrientes são, na sua maioria, solúveis em água e não apresentam problemas de uso. Os fertilizantes fosfatados, por serem, na sua maioria, insolúveis em água são mais problemáticos para serem utilizados via fertirrigação. Embora existam alguns fertilizantes fosfatados solúveis, esses apresentam perigo de serem utilizados em água de irrigação com elevado teor em cálcio, pois podem formar o fosfato de cálcio que é insolúvel, causando obstruções de tubulações e de emissores do sistema de irrigação.

Quando o pH da água for maior do que 7,5, o cálcio e o magnésio podem-se acumular nos filtros, nas linhas laterais e nos emissores do sistema de irrigação. Isso acontecendo, pode trazer riscos de obstruções das tubulações e dos emissores, principalmente quando o valor de saturação do carbonato de cálcio for maior do que 0,5 e a concentração da solução for maior que 300 meq.L⁻¹.

Compatibilidade Entre os Fertilizantes Utilizados na Fertirrigação

Nem todos os fertilizantes são compatíveis e podem ser aplicados juntos via água de irrigação (Tabela 2). A mistura de sulfato de amônio e cloreto de potássio reduz a solubilidade

Tabela 2. Compatibilidade entre os fertilizantes empregados na fertirrigação.

Fertilizante ⁽¹⁾	UR	NA	SA	NC	NK	CK	SK	FA	MS	MQ	SM	AF	AS	AN
Uréia (UR)	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Nitrato de amônio (NA)		C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Sulfato de amônio (SA)			I	C	C	SR	C	C	C	C	C	C	C	C
Nitrato de cálcio (NC)				C	C	I	I	I	SR	I	I	I	C	
Nitrato de potássio (NK)					C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Cloreto de potássio (CK)						SR	C	C	C	C	C	C	C	C
Sulfato de potássio (SK)							C	SR	C	SR	C	SR	C	
Fosfatos de amônio MAP e DAP (FA)								I	SR	I	C	C	C	
Fe, Zn, Cu e Mn sulfato (MS)									C	C	I	C	C	
Fe, Zn, Cu e Mn quelato (MQ)										C	SR	C	I	
Sulfato de magnésio (SM)											C	C	C	
Ácido fosfórico (AF)												C	C	
Ácido sulfúrico (AS)													C	
Ácido nítrico (AN)														C

⁽¹⁾C = compatível; SR = solubilidade reduzida; I = incompatível.
Fonte: Villas Bôas et al. (1999).

do fertilizante. A aplicação de cálcio na água rica em bicarbonato forma precipitados de gesso que leva à obstrução do emissores do sistema de irrigação e dos filtros.

A compatibilidade entre os fertilizantes e entre estes e os íons presentes na água de irrigação é outro fator importante. O ânion sulfato é incompatível com o cálcio, e os fosfatos com o cálcio e magnésio. Para facilitar a escolha dos produtos que podem ser misturados para aplicação via fertirrigação há tabelas que facilitam as decisões.

Perigo de Corrosão

Os problemas de corrosão tanto do injetor quanto do sistema de irrigação constituem aspectos que merecem ser avaliados na fertirrigação, pois os custos dos equipamentos são relativamente altos e o uso de determinado produto pode reduzir a vida útil desses equipamentos e inviabilizar à prática da fertirrigação. Cada tipo de material apresenta maior ou menor capacidade de sofrer corrosão, dependendo do tipo de material utilizado para confecção do equipamento e do produto utilizado na fertirrigação.

A Tabela 3 apresenta uma lista de produtos que identifica o perigo de corrosão na fertirrigação.

Tabela 3. Corrosão relativa dos fertilizantes dissolvidos na água a diversos metais⁽¹⁾.

Fertilizantes	Alumínio	Cobre	Bronze	Aço	Aço galva- nizado	Aço inox
Uréia (solução)	C	SC	C	SC	SC	SC
Nitrato de amônio	BC	BC	BC	BC	BC	BC
Uréia-nitrato de amônio	C	C	C	C	BC	SC
Amônia líquida	SC	BC	BC	SC	SC	SC
Sulfato de amônio	BC	MC	MC	MC	MC	MC
Nitrato de cálcio	SC	BC	BC	BC	C	SC
Nitrato de sódio	C	SC	SC	BC	BC	SC
Ácido fosfórico	MC	MC	MC	MC	MC	SC
Fosfato diamônico (DAP)	MC	MC	MC	-	-	BC
Polifosfato de amônio	C	BC	BC	SC	BC	SC

⁽¹⁾SC = sem corrosividade; BC = baixa corrosividade; C = corrosividade a elevada concentração; MC = muito corrosivo.

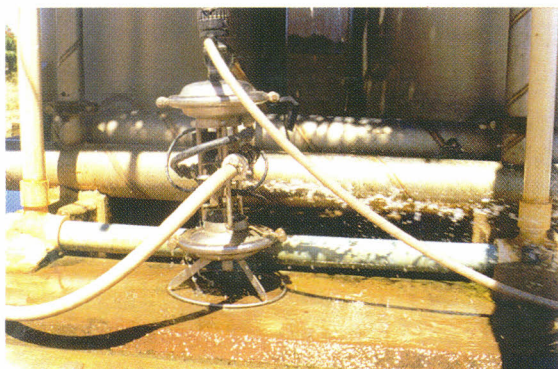
Equipamentos para Fertirrigação

Os métodos mais comuns de injeção de fertilizantes na água de irrigação podem ser agrupados nas categorias: gravidade, pressão diferencial, pressão negativa e pressão positiva (Costa et al., 1986).

O método por gravidade baseia-se na pressão da linha de irrigação e no gradiente entre potencial gravitacional no tanque de injeção, cujo funcionamento depende desse gradiente.

O método da pressão diferencial utiliza dispositivos hidráulicos para forçar a entrada da solução na linha de irrigação, tais como o venturi, o tanque de derivação de fluxo e o tubo de Pitot.

O método da pressão positiva baseia-se no princípio da introdução forçada da solução na linha de irrigação. A injeção da solução na linha de irrigação é feita por bombas injetoras de acionamento hidráulico (Fig. 1) e elétrico (Fig. 2), que pode ser de diafragma ou de pistão. Dentre esses equipamentos, as bombas injetoras destacam-se como as mais precisas, por permitirem o controle da taxa de injeção de soluções em concentrações constantes, durante todo o tempo de fertirrigação, caso a pressão de serviço seja mantida constante. Quando possível, fazer a injeção das soluções de fertilizantes antes do sistema de filtragem de água, a fim de evitar que as impurezas obstruam os emissores.



Fotos: José Maria Pinto

Fig 1. Bomba injetora de fertilizantes com acionamento hidráulico.



Fig 2. Bomba injetora de fertilizantes com acionamento elétrico.

Injetores

Bombas Centrífugas

As bombas injetoras centrífugas são as mais utilizadas em todo o mundo, em razão de proporcionar vazão de injeção constante durante a fertirrigação, por serem confeccionadas com materiais resistentes à corrosão e por funcionarem com pressão superior à da bomba do sistema de irrigação.

Bomba Injetora Tipo Diafragma

As bombas injetoras tipo diafragma são equipamentos que trabalham com uma pressão efetiva positiva e superior à pressão disponível no sistema de irrigação. Essas bombas são confeccionadas com materiais resistentes à pressão e apresentam a vantagem de introduzir a solução na água de irrigação a uma taxa constante, o que nem sempre se tem com outros tipos de injetores.

Injetor Tipo Venturi

O injetor tipo Venturi é um dispositivo de polipropileno, PVC ou metálico que possui uma secção convergente gradual seguida de um estrangulamento e de uma secção divergente gradual para igual diâmetro da tubulação a ele conectado (Fig. 3).

Algumas das vantagens desse tipo de injetor deve-se à simplicidade de operação, seu baixo custo e uma eficiência satisfatória quando se trabalha com condições de pressões de serviço e de vazões motrizes bem definidas, como:

- a) Fácil manutenção.
- b) Possibilidade de uso com pequena taxa de injeção.

- c) A taxa de injeção pode ser ajustada com controle apenas de registros.
- d) Possibilidade de uso com diferentes tipos de produtos na fertirrigação.

Como limitação desse tipo de injetor, tem-se as altas perdas de carga, em torno de 20% a 30% da pressão de serviço, sendo mais acentuadas quando instalado em série na tubulação do sistema de irrigação.

Foto: José Maria Pinto



Fig 3. Injetor de fertilizantes tipo Venturi.

Outras limitações são o baixo rendimento e o reduzido limite operacional de cada injetor para determinada pressão de serviço e de diferencial de pressão.

Desvantagens do injetor Venturi:

- a) Possibilidade de perda de pressão na linha principal do sistema de irrigação.
- b) Os cálculos quantitativos dos fertilizantes podem ser difíceis para o produtor.

O limite operacional inviabiliza utilizar o injetor em condições hidráulicas diferentes daquelas que foram estabelecidas e projetadas para construção de determinado injetor.

O tanque de fertilizante é uma peça importante de uma instalação de fertirrigação. Pode ser constituído de fibra de vidro, PVC ou de metal, podendo ser aberto com agitação manual (Fig. 4) ou hermeticamente fechado com agitação mecanizada (Fig. 5), dependendo do método de injeção empregado.



Fig 4. Tanques para dissolução de fertilizantes com agitação manual.

Fotos: José Maria Pinto

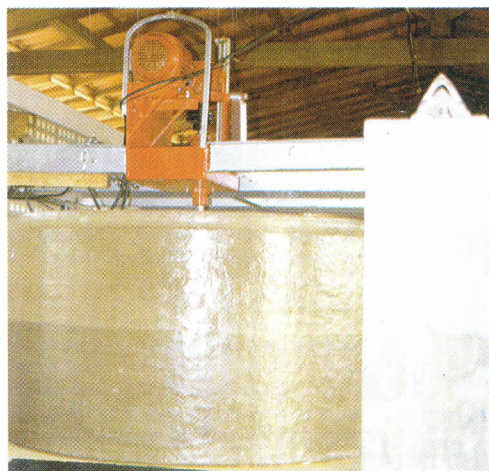


Fig 5. Tanque para dissolução de fertilizantes com agitação mecanizada.

Exigências Nutricionais da Mangueira

Estudos realizados por Avilan (1983) demonstraram que os macronutrientes encontrados em maior concentração nos frutos são o potássio (60 g.kg⁻¹) e o nitrogênio (57 g.kg⁻¹), seguidos, em ordem decrescente, pelo cálcio (51 g.kg⁻¹), magnésio (28 g.kg⁻¹) e fósforo (7,7 g.kg⁻¹) (Tabela 4). Entre os micronutrientes, o ferro é o que apresenta maiores teores, seguido pelo manganês, cobre, zinco e boro.

Considerando a exportação de nutrientes pelos frutos (casca, polpa e semente), o nitrogênio (N) e o potássio (K) foram os mais encontrados; em média, são exportados 1,23 kg de N; 0,15 kg de P; 1,57 kg de K; 0,28 kg de Ca; 0,20 kg de Mg; 0,15 kg de S; 1,22 g de B; 3,53 g de Cu; 4,19 g de Fe; 2,71 g de Mn; e 3,27 g de Zn por tonelada de frutos (Tabela 5). Assim, os nutrientes exportados pelos frutos seguem a seguinte ordem decrescente:

$K > N > Ca > Mg > P = S > Fe > Cu > Zn > Mn > B.$

Quanto à marcha de absorção de nutrientes, estudos com N, P, K e Ca mostraram que, nos períodos anteriores à floração, os teores de N, P e K foram máximos, havendo redução em seguida. Os valores mais baixos foram encontrados na fase de formação dos frutos. O inverso ocorreu com o cálcio. No entanto, maior absorção de P foi observada no início da formação de frutos. Assim, os períodos de floração e início de formação dos frutos são mais críticos dentro do ciclo de produção. Pode-se considerar duas fases distintas, uma de acúmulo de nutrientes, iniciada após a colheita até o início da floração, e outra de diminuição dos níveis, durante a formação dos frutos. Nessa fase, a maior absorção ocorre 52 dias após o aparecimento dos frutos.

Tabela 4. Concentração de macro e micronutrientes na matéria seca de folhas de mangueira.

Variedade	Macronutrientes					Micronutrientes				
	N	P	K	Ca	Mg	Mn	B	Zn	Cu	Fe
	g.kg ⁻¹					mg.kg ⁻¹				
Glenn	41	11,0	54	53	19	46	7	19	30	84
Tommy Atkins	77	18,5	55	48	42	55	14	20	31	39
Irwin	40	14,8	64	74	28	54	7	18	24	56
Harris Sdg	46	5,2	53	43	28	35	8	22	27	82
Smith	71	8,3	64	56	20	55	10	28	28	110
Haden	33	6,7	71	45	20	91	8	22	33	39
Zill	65	5,1	42	44	26	15	9	21	37	95
Carrie	63	5,9	56	55	28	56	10	21	19	51
Manga criolla	103	7,4	95	43	41	48	8	23	23	45
Edward	66	3,1	46	61	39	67	9	22	26	56
Kent	66	4,0	55	38	36	15	20	22	19	51
Springfelds	51	4,0	71	59	26	93	7	19	23	31
Ford	44	4,2	54	47	25	63	7	16	18	29
Bocado	41	9,7	63	48	20	26	7	18	20	37
Média	57	7,7	60	51	28	51,4	9,4	20,8	25,6	57,5

Fonte: Laborem et al. (1979), revisado por Avilán (1983).

Tabela 5. Quantidades médias de nutrientes exportadas pelos frutos frescos de diferentes cultivares de manga.

Cultivar	Haden	Tommy Atkins	Extrema	Manila	Sensation	Carlota	Média
kg.t ⁻¹ frutos							
N	1,18	1,09	1,18	1,24	-	1,45	1,23
P	0,09	0,12	0,17	0,15	0,18	0,18	0,15
K	1,20	0,91	1,84	1,89	1,31	2,27	1,57
Ca	0,20	0,25	0,15	0,24	0,60	0,25	0,28
Mg	0,20	0,24	0,17	0,17	0,31	0,13	0,20
S	0,10	0,12	0,19	-	-	0,19	0,15
g.t ⁻¹ frutos							
B	1,40	1,80	0,90	-	-	0,80	1,22
Cu	4,80	9,00	0,90	1,43	-	1,50	3,53
Fe	6,10	2,20	3,90	5,36	-	3,40	4,19
Mn	2,30	2,80	3,80	0,36	-	4,30	2,71
Zn	5,80	5,40	1,50	2,14	-	1,50	3,27
Peso médio fruto (g)	420-540	460-600	320-400	280	350	180-250	
Idade da cultura (anos)	9	9	-	31	2	-	

Fonte: Haag et al. (1990), adaptado por Quaggio (1996), Hiroce et al. (1978), (1996) e Janse van Vuuren & Stassen (1997).

Fertirrigação com Nitrogênio

O nitrogênio (N) é o nutriente mais aplicado via água de irrigação, pois apresenta alta mobilidade no solo, principalmente na forma de nitrato (NO₃⁻). Pela fertirrigação é possível parcelar o N de acordo com a demanda da mangueira, reduzindo as perdas do nutriente, principalmente em solos arenosos (Coelho, 1994; Vitti et al., 1994).

Acredita-se que, aumentando o número de parcelamentos da adubação nitrogenada, há maior eficiência do uso de N e redução de perdas, principalmente por lixiviação. Entretanto, existem evidências de que o processo de nitrificação em solos tropicais não é tão rápido, aumentando, com isso, o tempo do N na forma amoniacal, com a redução das perdas por lixiviação de nitrato (Coelho, 1994). Dessa maneira, a aplicação do N pode ser efetuada na época de sua maior necessidade pela planta.

Samra & Arora (1997) citam trabalhos que mostram maior produtividade da mangueira quando a adição de NPK foi realizada 50% no florescimento e 50% após a colheita. Contudo, existem recomendações de que o N deve ser aplicado até 60 dias após o florescimento.

Uma vez que a demanda por nutrientes não é constante durante todo o ciclo de desenvolvimento da planta, numa determinada fase pode-se ter maior demanda por outro nutriente (Ca, P ou K), o que irá definir o íon acompanhante do fertilizante nitrogenado.

Os fertilizantes nitrogenados sólidos são apresentados em quatro formas: amoniacal (sulfato de amônio), nítrica (nitrato de sódio), nítrico-amoniacal (nitrato de amônio, nitrocálcio)

e amídica (uréia), sendo solúveis em água e adequados para fertirrigação, inclusive por gotejamento. De modo geral, as fontes nitrogenadas têm apresentado comportamento similar, podendo diferir em razão da presença de outro nutriente ou pelo efeito sobre o pH do solo (Coelho, 1994). A Tabela 6 apresenta as características dos principais fertilizantes nitrogenados encontrados no mercado.

Tabela 6. Características dos fertilizantes nitrogenados utilizados na fertirrigação.

Fertilizante	Concentração de nutriente (g.kg ⁻¹)	Solubilidade (g.L ⁻¹)	Índice salino ⁽¹⁾	Índice acidez /basicidade ⁽²⁾
Nitrato de amônio	340 N	1.900	105	+60
Nitrato de cálcio	140 N + 280 Ca	1.200	61	-20
Nitrato de magnésio	70 a 110 N + 100 a 160 MgO	-	-	Básico
Nitrato de potássio	130 N + 460 K2O	310	-	-115
Sulfato de amônio	200 N + 240 S	730	69	+110
Uréia	450 N	1.000	75	+71
Nitrato de sódio	160 N	730	100	Básico
Uran	320 N	-	-	-
DAP	170 N + 400 P2O5	400	34	+88
MAP	110 N + 440 P2O5	220	30	+60
MAP + uréia	125 N + 125 P2O5	-	-	-
Magnitra-L	70 N + 100 MgO	-	-	-

⁽¹⁾Relativo ao valor do índice salino do nitrato de sódio (NaNO₃) igual a 100.
⁽²⁾ +Quantidade de CaCO₃ necessária para neutralizar 100 kg do adubo;
- quantidade de CaCO₃ "adicionadas" pela aplicação de 100 kg de adubo.
Fonte: Frizzone & Botrel (1994) e Vitti et al. (1994).

Com relação às quantidades de nitrogênio aplicadas, deve-se observar a necessidade da mangueira em cada fase de seu desenvolvimento. O nitrogênio será aplicado durante toda a fase de crescimento (consultar o capítulo Nutrição e Adubação), devendo-se reduzir as quantidades ou suspender a aplicação no período próximo à indução floral. Por meio da fertirrigação, parcela-se o nitrogênio de acordo com a textura do solo, reduzindo as perdas do nutriente, principalmente em solos arenosos. Nos solos argilosos, a fertirrigação com nitrogênio pode ser realizada uma vez por semana, enquanto nos solos arenosos, como as areias quartzosas (Neossolos Quartzarênicos), deverá ser realizada de três a cinco vezes por semana.

Na fase de produção, as quantidades de nitrogênio a serem aplicadas são definidas em função do teor desse nutriente nas folhas e da produtividade esperada. Os períodos de maior demanda são a pós-colheita e o período que vai do pegamento dos frutos até os mesmos atingirem 5 cm de diâmetro. O nitrogênio deve ser igualmente parcelado nessas duas fases (50% em cada fase), observando-se sempre a textura do solo na frequência da fertirrigação.

Fertirrigação com Fósforo

O fósforo (P) é um nutriente pouco aplicado em fertirrigação, devido à sua baixa difusão no solo (Coelho, 1994). A adubação fosfatada apresenta efeito residual de longa duração, pois o P não se move a longas distâncias no solo e a lixiviação do perfil do solo é pequena,

até mesmo em solos mais arenosos. Contudo, trabalho citado por Coelho (1994), em solo arenoso, mostrou que houve movimentação do P até 18 cm de profundidade, com a fertirrigação, em cultura de ciclo curto. Acredita-se que o aumento da mobilidade do P, aplicado por gotejamento, seja devido à saturação dos sítios de adsorção próximos ao ponto de saída da solução.

Samra & Arora (1997) apresentam trabalhos cuja maior produtividade da mangueira foi obtida com 30 kg de $P_2O_5 \cdot ha^{-1}$ aplicados 50% no florescimento e 50% após a colheita. Contudo, outros trabalhos indicam doses de P_2O_5 de 87, 185 e 200 g.planta⁻¹.ano⁻¹.

Para realizar a aplicação de fósforo por fertirrigação durante a fase de formação da mangueira, deve-se observar o pH e a presença de cálcio na água de irrigação, a textura do solo e a compatibilidade com outros nutrientes. As quantidades a serem aplicadas são definidas em função da análise química do solo realizada antes do plantio.

Durante a fase de produção, além dos cuidados citados anteriormente, deve-se parcelar a adubação fosfatada nas fases de pós-colheita (60%) e florescimento (40%). Na fase de pós-colheita deve-se dar preferência ao MAP, ao DAP ou, ainda, ao fosfato de uréia, e na fase de florescimento pode-se utilizar o MKP, caso as condições não sejam adequadas à aplicação de ácido fosfórico. Alguns desses produtos apresentam custo muito elevado, o que restringe a sua utilização. As quantidades de fósforo a serem aplicadas são definidas em função do teor do nutriente no solo e da produtividade esperada (consultar capítulo Nutrição e Adubação).

Contudo, muitas vezes não se justifica a recomendação do fertilizante fosfatado, via água de irrigação, devido à baixa solubilidade da maioria dos adubos fosfatados e à facilidade de sua precipitação, causando entupimento nos microaspersores e gotejadores. O ácido fosfórico, apesar do risco de corrosão em condutos metálicos, não causa problemas de entupimento dos emissores.

Fertirrigação com Potássio

O potássio (K), apesar de não fazer parte de compostos estruturais da planta, é importante nos processos fotossintéticos, da respiração e de translocação da seiva. É um nutriente importante no estágio de frutificação da mangueira (Rodriguez et al., 1986).

A aplicação de potássio (K) via água de irrigação, juntamente com o nitrogênio (N), é viável, uma vez que os fertilizantes potássicos são solúveis. No parcelamento desse nutriente é importante considerar o seu potencial de perdas por lixiviação e a curva de absorção pela mangueira. Sabe-se que as perdas de K por lixiviação variam com a textura do solo, sendo maiores em solos arenosos e quando as doses aplicadas são muito elevadas.

Dessa maneira, a época de aplicação e o número de parcelamentos vão depender da dose a ser aplicada e da demanda da cultura. Segundo Avilán (1971), a absorção de K é maior antes do florescimento. Janse van Vuuren & Stassen (1997) verificaram maior quantidade de K nos frutos; assim, esse elemento deve ser aplicado no início da produção dos frutos, devido à exigência dos mesmos nessa fase. Outra recomendação sugere a aplicação de 30% a 60% da dose no período de produção e 40% a 70% após a colheita.

Na fase de crescimento, as aplicações de potássio devem ser realizadas da mesma forma que as de nitrogênio, isto é, durante toda a fase de crescimento. A frequência de fertirrigação deverá ser a mesma da irrigação. As quantidades a serem aplicadas devem ser estabelecidas pela análise química do solo (consultar o capítulo Nutrição e Adubação).

Na fase de produção, as quantidades de potássio a serem aplicadas são definidas em função do teor do nutriente no solo e da produtividade esperada. O potássio pode ser aplicado durante todo o período, devendo-se aplicar 25% a 35% após a colheita e concentrar as demais aplicações do pegamento dos frutos até que os mesmos atinjam 5 cm de diâmetro (consultar o capítulo Nutrição e Adubação). Os fertilizantes potássicos, normalmente utilizados em fertirrigação, são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7. Características dos fertilizantes potássicos utilizados na fertirrigação.

Fertilizante	Concentração de nutriente (g.kg ⁻¹)	Solubilidade (g.L ⁻¹)	Índice salino ⁽¹⁾	Índice acidez /basicidade
Cloreto de potássio	600 K ₂ O + 480 Cl	340	115	-
Nitrato de potássio	440 K ₂ O + 140 N	320	31	Básico
Sulfato de potássio	520 K ₂ O + 170 S	110	46	-
Nitrato de sódio e potássio	140 K ₂ O + 140 N	-	31	-
Sulfato de potássio e magnésio (K-Mag)	220 K ₂ O + 220 S + 110 Mg	290	43	-
MKP	340 K ₂ O +520 P ₂ O ₅	-	-	-

⁽¹⁾Relativo ao valor do índice salino do nitrato de sódio (NaNO₃) igual a 100.
Fonte: Coelho (1994) e Vitti et al. (1994).

Fertirrigação com Cálcio e Magnésio

Os fertilizantes contendo cálcio (Ca) e magnésio (Mg) são normalmente supridos pela calagem. Contudo, o Ca pode ficar em desequilíbrio quando houver excesso de Mg e K e também N, o que poderá levar à ocorrência de distúrbios fisiológicos nos frutos das variedades monoembrionicas e melhoradas como Tommy Atkins, Kent e Keitt. Devido à importância do cálcio na planta, outras aplicações desse nutriente podem ser necessárias, além da calagem, via solo, na forma de gesso ou de nitrato de cálcio em pulverização ou fertirrigação. O magnésio é integrante da molécula de clorofila e ativador de enzimas. É essencial para a absorção de P, no entanto, altas concentrações de K inibem sua absorção. Normalmente se utiliza o sulfato como fonte de magnésio, dada a sua boa solubilidade. O nitrato de magnésio e as formas quelatizadas de Mg, apesar de terem um custo mais elevado, são outras alternativas.

Fertilizantes Contendo Enxofre e Micronutrientes

O suprimento de enxofre (S) pela fertirrigação não apresenta problemas, pois o íon SO₄⁻ é móvel no solo e está presente em fertilizantes com alta solubilidade, como o sulfato de amônio (24%S) e o sulfato de potássio. Porém, deve-se tomar cuidado com a incompatibilidade do sulfato com o cálcio.

Micronutrientes como o Zn, Fe, Cu e Mn podem reagir com sais da água de irrigação e causar precipitação e entupimento de emissores. Por isso, os micronutrientes são aplicados como quelatos, que são solúveis e causam poucos problemas de precipitação.

O B é essencial na formação da parede celular e na divisão celular, aumentando o número de flores, o pegamento de fruto e a produtividade. No caso do boro, em função da facilidade de lixiviação que esse nutriente apresenta, o parcelamento é a prática mais recomendada. Os micronutrientes utilizados em fertirrigação são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8. Características dos fertilizantes contendo micronutrientes utilizados na fertirrigação.

Fertilizante	Concentração de nutriente (g.kg ⁻¹)	Solubilidade (g.L ⁻¹)
Sulfato de cobre	250 Cu	220
Sulfato de Cu pentahidratado	-	240
Sulfato de manganês	280 Mn	1.050
Sulfato manganoso (MnSO ₄ .3H ₂ O)	270 Mn	7.420
Molibdato de sódio	390 Mo	560
Molibdato de amônio	480 Mo	400
Sulfato de zinco	220 Zn	750
Ácido bórico	160 B	50
Bórax	110 B	50
Solubor (Na ₂ B ₈)O ₁₃ . 4H ₂ O)	209 B	95 (32 a 50°C)
Sulfato de ferro	190 Fe	240
Sulfato ferroso	-	330
Tenso TM Fe	60 Fe	Total
Quelatos (Fe, Cu, Mn e Zn) EDTA, DTPA	-	Alta
Hydroplus TM Micro	30 B + 120 Cu + 38 Fe-EDTA + 32 Fe-DTPA + 120 Mn + 41 Mo + 140 Zn	
Tenso Cocktail	5,2 B + 25,7 Ca-EDTA + 5,3 Cu-EDTA + 21 Fe-EDTA + 17,4 Fe-DTPA + 25,7 Mn-EDTA + 1,3 Mo + 5,3 Zn-EDTA.	Completa

Fonte: Vitti et al. (1994) e Villas Bóas et al. (1999).

Manejo da Fertirrigação

Quando se prepara uma solução de fertilizantes envolvendo mais de um tipo de fonte de nutrientes, deve-se verificar se são compatíveis, para evitar problemas de entupimento das tubulações e dos emissores. O cálcio não pode ser injetado com outro fertilizante que contenha o radical sulfato. Esses cuidados devem ser ainda maiores quando a água usada na irrigação tem pH neutro, ou seja, quando as concentrações de Ca + Mg e de bicarbonatos são maiores que 50 e 150 ppm, respectivamente. O ácido fosfórico não pode ser injetado via água de irrigação que contenha mais que 50 ppm de cálcio e nitrato de cálcio e em água que contenha mais de 5,0 meq.L⁻¹ de HCO₃, pois poderá formar precipitados de fosfato de cálcio.

Os procedimentos adequados para aplicação de fertilizantes via água de irrigação compreendem três etapas distintas. Durante a primeira etapa, deve-se por em funcionamento

o sistema de irrigação durante um quarto do tempo de irrigação, para equilibrar hidraulicamente as unidades de rega como um todo. Na segunda etapa, faz-se a injeção dos fertilizantes no sistema de irrigação, através de equipamentos apropriados. Na terceira etapa, o sistema deverá continuar funcionando, visando complementar o tempo total de irrigação. Deve-se, então, lavar completamente o sistema de irrigação e carrear os fertilizantes da superfície, para camadas mais profundas do solo.

A fertirrigação depende da taxa de injeção de fertilizantes, do tempo de irrigação por unidade de rega e dos tipos e doses de fertilizantes por unidade de rega, levando-se em conta as variedades e suas respectivas fases fenológicas.

Como regra geral, dependendo da complexidade do desenho do sistema de irrigação com relação à fertirrigação, recomenda-se iniciar o processo com fertilizante potássico, seguido dos fertilizantes nitrogenados, administrando-se as quantidade desses fertilizantes aplicados por unidade de rega, com base no tempo de irrigação. As propriedades que utilizam o ácido fosfórico, como fonte de fósforo, devem aplicá-lo no final da fertirrigação, pois esse procedimento pode também proporcionar a limpeza dos sistemas de irrigação. Caso os fertilizantes sejam aplicados na forma de mistura, as soluções de cada fertilizante devem ser preparadas em separado e misturadas na proporção desejada, de acordo com as necessidades nutricionais das plantas.

Uma alternativa mais recente, que surgiu com o intuito de amenizar a complexidade da injeção de fertilizantes, via água de irrigação, é a utilização de adutoras secundárias, paralelas às adutoras das unidades de rega, cuja finalidade é transportar a solução ou mistura concentrada de fertilizante até a entrada da unidade de rega específica. Porém, é necessário que haja simultaneidade entre os tempos de irrigação e de fertirrigação, em cada unidade de rega, de modo que a injeção da solução contendo fertilizante seja feita nos dois quartos intermediários do tempo de irrigação, pois a permanência do nitrogênio na tubulação, após a fertirrigação, pode favorecer o desenvolvimento de microrganismos que causam a obstrução dos emissores.

Também, deve-se levar em consideração a localização do cabeçal de controle em relação às áreas irrigadas, monitorando-se a condutividade elétrica da água de irrigação, com o objetivo de determinar o tempo exato em que a água chega a cada unidade de rega.

A relação entre a vazão de injeção de fertilizantes e a vazão do sistema de irrigação é de 0,2 a 0,4 L.m⁻³, e o aumento da salinidade da água de irrigação, provocada pela injeção de fertilizantes, é função da relação entre a frequência de irrigação e a frequência de fertirrigação, conforme Tabela 9.

Tabela 9. Salinidade máxima na água de irrigação após a dissolução de fertilizantes.

Frequência de irrigação/frequência de fertirrigação	Condutividade elétrica (mmhos.cm ⁻¹ a 25°C)	Concentração na água (g.L ⁻¹)
1/1	2,30	1,50
1/2	3,10	2,00
1/3	4,00	2,50
1/7	6,30	4,00

Fonte: Burt et al. (1998).

Automação e Medidas de Segurança na Fertirrigação

Automação do Sistema de Injeção

Ano a ano, surgem equipamentos mais sofisticados com finalidade de fazer da fertirrigação uma prática mais eficiente e segura. Sistemas computadorizados operando com uma série de produtos separados já permitem que cada produto seja aplicado separadamente de acordo com a necessidade temporária requerida pelas culturas. A automação, além de minimizar as perdas dos produtos, reduz a mão-de-obra, evita o contato do homem com os produtos e melhora a sua eficácia.

Medidas de Segurança do Sistema de Injeção

Como a maioria dos produtos químicos utilizados na fertirrigação são perigosos para o homem e para o ambiente, tornam-se necessários cuidados especiais daqueles que estão manuseando o sistema de injeção. Nos cultivos irrigados tecnificados existem equipamentos, como registros, e válvulas de controle para evitar o refluxo desses produtos para a fonte supridora de água, bastante utilizados e recomendados. Como todo equipamento mecânico pode parar de funcionar a qualquer momento, dispositivos de segurança são imprescindíveis para evitar riscos de contaminação do ambiente com os produtos utilizados.

Referências

- AVILÁN, L. R. Variaciones de los niveles de nitrogeno, fosforo, potasio y calcio en las hojas de mango (*Mangifera indica* Linn.) atraves de un ciclo de produccion. **Agronomia Tropical**, Maracay, v. 21, n. 1, p. 3-10, 1971.
- AVILÁN, L. R. La fertilización del mango (*Mangifera indica* L.) en Venezuela. **Fruits**, Paris, v. 38, n. 7/8, p. 553-562, 1983.
- AVILÁN, L. R.; CHAURAN, O.; FIGUEROA, M. **Evaluacion del estado nutricional del mango (*Mangifera indica* L.) y el aguacate (*Persea americana* Mill) y distribucion radicular del mango cultivado en los suelos de las mesas orientales de Venezuela**. [Maracay: s.n.], 1978. 18 p.
- AZZOUZ, S.; EL-NOKRASHY, M. A.; DAHSHAN, I. M. Effect of frequency of irrigation on tree production and fruit quality of mango. **Agricultural Research Review**, v. 55, n. 3, p. 59-66, 1977.
- BURT, C.; O'CONNOR, K.; RUEHR, T. **Fertigation**. San Luis Obispo: California, 1998. 320 p.
- CAVALCANTI, F. J. de A. **Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco**. 2. aproximação. Recife: IPA, 1998. 198 p.
- COELHO, A. M. Fertirrigação. In: COSTA, E. F. da; VIEIRA, R. F.; VIANA, P. A. (Ed.). **Quimigação: aplicação de produtos químicos e biológicos via irrigação**. Brasília: Embrapa-SPI, 1994. p. 201-227.
- COSTA, E. F.; FRANÇA, G. E.; ALVES, V. M. C. Aplicação de fertilizantes via água de irrigação. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 12, n. 139, p. 63-68, 1986.
- FRIZZONE, J. A.; BOTREL, T. A. Aplicação de fertilizantes via água de irrigação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE FERTILIZANTES FLUIDOS, 1993, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: POTAFOS, 1994. p. 227-260.

- HAAG, H. P.; SOUZA, M. E. P.; CARMELLO, Q. A. C.; DECHEN, A. R. Extração de macro e micronutrientes por frutos de quatro variedades de manga (*Mangifera indica* L.). **Anais da ESALQ**, Piracicaba, v. 47, n. 2, p. 459-477, 1990.
- HIROCE, R.; CARVALHO, A. M.; BATAGLIA, O. C.; FURLANI, P. R.; FURLANI, A. M. C.; SANTOS, R. R. dos; GALLO, J. R. Composição mineral de frutos tropicais na colheita. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 4., 1978, Salvador, BA. **Anais...** Salvador, BA: SBF, 1978. p. 357-364.
- JANSE VAN VUUREN, B. P. H.; STASSEN, P. J. C. Seasonal uptake of macro elements by young bearing "sensation" mango trees. **Acta Horticulturae**, Leuven, v. 1, n. 455, p. 167-174, 1997.
- KOTUR, S. C.; IYENGAR, B. R.; SHIVANANDA, T. N. Distribution of root activity in young 'Alphonso' mango (*Mangifera indica*) trees as influenced by season and growth. **Indian Journal of Agricultural Sciences**, v. 67, n. 3, p. 113-116, 1997.
- LARSON, K. D.; SCHAFFER, B.; DAVIES, F. S.; SCHAFFER, B. Physiological, morphological and growth responses of mango trees to flooding. **Acta Horticulturae**, Wazeningen, n. 341, p. 152-159, 1993.
- LOBOREM, G.; AVILÁN ROVIRA, L.; FIGUEROA, M. Extracción de nutrientes por una cosecha demango (*Mangifera indica* L.). **Agronomia Tropical**, Maracay, v. 29, n. 1, p. 3-15, 1979.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1989. 201 p.
- MEDINA, U. V. M. Distribution of roots of native mango trees *Mangifera indica* L. grafted with three different cultivars. **Agricultura Tecnica on Mexico**, v. 9, n. 2, p. 165-178, 1983.
- MOSTERT, P. G.; WANTENAAR, L. Water needs and irrigation of mature mango trees. **Yearbook South African Mango Growers' Association**, v. 14, p. 21-23, 1994.
- NUNEZ-ELISEA, E.; DAVENPORT, T. L. Flowering of mango trees in containers as influenced by seasonal temperature and water stress. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 58, p. 57-66, 1994.
- PINTO, J. M.; SOARES, J. M. **Fertirrigação: a adubação via água de irrigação**. Petrolina, PE: Embrapa-CPATSA, 1990. 16 p. (Embrapa-CPATSA. Documentos, 70).
- PIZARRO, F. **Riego localizado de alta frecuencia**. Madrid: Mundi-Prensa Libros, 1987. 461 p.
- QUAGGIO, J. A. Adubação e calagem para mangueira e qualidade dos frutos. In: SÃO JOSÉ, A. R.; SOUZA, I. V. B.; MARTINS FILHO, J.; MORAIS, O. M. (Ed.). **Manga: tecnologia de produção e mercado**. Vitória da Conquista, BA: DFZ-UESB, 1996. p. 106-135.
- RODRIGUEZ, A. P. M.; GUILHERME, M. R.; KLIEMANN, H. J.; GENÚ, P. J. de C.; QUEIROZ, E. F. de. Nutrição mineral e adubação da mangueira. In: HAAG, H. P. (Ed.). **Nutrição mineral e adubação de frutíferas tropicais no Brasil**. Campinas, SP: Fundação Cargill, 1986. p. 205-245.
- SAMRA, J. S.; ARORA, Y. K. Mineral nutrition. In: LITZ, R. E. **The mango: botany, production and uses**. Homestead: CAB International, 1997. p. 175-201.
- SHANI, M. **La fertilization combinada com el riego**. Israel: Ministerio del Agricultura, 1981.
- SILVA, E. M.; PINTO, A. C. Q.; AZEVEDO, J. A. **Manejo da irrigação e fertirrigação na cultura da mangueira**. Planaltina, DF: Embrapa-CPAC, 1996. 77 p. (Embrapa-CPAC. Documentos, 61).
- SOARES, J. M.; COSTA, F. F. Irrigação. In: EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido (Petrolina, PE). **Informações técnicas sobre a cultura da manga no semi-árido brasileiro**. Brasília: Embrapa- SPI, 1995. p. 41-80.

VILLAS BOAS, R. L.; BULL, L. T.; FERNANDES, D. M. Fertilizantes em fertirrigação. In: FOLEGATTI, M. V. **Fertirrigação**: citrus, flores, hortaliças. Guaíba, RS: Ed. Agropecuária, 1999. Cap. 4, p. 293-353.

VITTI, G. C.; BOARETTO, A. E.; PENTEADO, S. R. Fertilizantes e fertirrigação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE FERTILIZANTES FLUIDOS, 1993, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: POTAFOS, 1994. p. 261-281.